

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-274573

(43)Date of publication of application : 30.09.1994

(51)Int.CI.

G06F 15/60

(21)Application number : 05-060021

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 19.03.1993

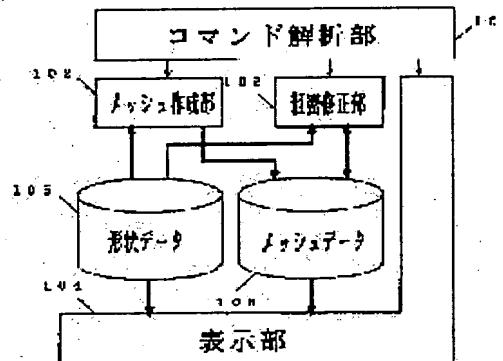
(72)Inventor : HAYASHI SHIGETOSHI

(54) SYSTEM FOR PREPARING MESH FOR NUMERICAL ANALYSIS

(57)Abstract:

PURPOSE: To efficiently prepare new mesh data in a short time at the time of changing the compression states of mesh by changing a part of component size to be the reference of compression control after preparing the mesh data and changing the mesh data by smoothing to the size after the change.

CONSTITUTION: A command analysis part 101 analyzes commands from a user and starts a mesh preparation part 102, a compression correction part 103 and a display part 104. The mesh preparation part 102 refers to shape data stored in a shape data storage part 105 corresponding to a mesh preparation control command from the command analysis part 101, divides the shape to the mesh, prepares the mesh data and stores them in a mesh data storage part 106. The compression correction part 103 refers to the shape data corresponding to a compression correction control command from the command analysis part 101 and updates the mesh data of the mesh data storage part 106 based on a part of components to be the reference of compression state change included in the command and the specified size after the change of the component.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-274573

(43) 公開日 平成6年(1994)9月30日

(51) Int. C1. 5
G 06 F 15/60

識別記号 450

府内整理番号 7623-5 L

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2

OL

(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平5-60021

(22) 出願日 平成5年(1993)3月19日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 林 重年

神奈川県横浜市戸塚区戸塚町5030番地 株

式会社日立製作所ソフトウェア開発本部内

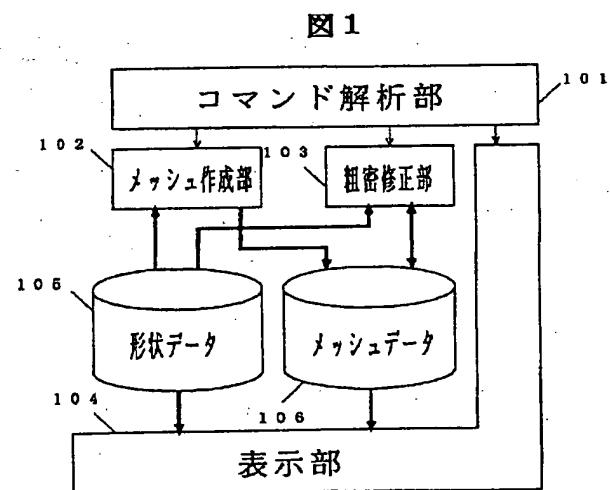
(74) 代理人 弁理士 秋田 収喜

(54) 【発明の名称】数値解析用メッシュ作成システム

(57) 【要約】

【目的】 メッシュ分割の粗密状態の変更に対して、所望の粗密状態を表すメッシュデータを効率よく短時間で作成すること。

【構成】 メッシュの粗密状態の変更に際して、粗密状態変更の基準となる一部の要素とその変更後のサイズを指定すると、その指定に対し基準となる一部の要素のサイズを変更した後、粗密状態を変更する領域内でスムージングを行うことにより、メッシュデータを変更する粗密修正部を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 メッシュ作成命令に従って解析対象領域をメッシュに分割し、数値解析用のメッシュデータを作成するメッシュ作成手段と、作成されたメッシュの粗密状態の変更に際して、粗密状態変更の基準となる一部の要素と該要素の変更後のサイズを指定する指定手段と、この指定手段で指定された一部の要素のサイズを指定のサイズに変更した後、粗密状態を変更する領域内でスムージングを行うことにより、上記解析対象領域のメッシュデータを変更する粗密修正手段とを備えることを特徴とする数値解析用メッシュ作成システム。

【請求項2】 前記指定手段は粗密状態変更の基準となる一部の要素の変更後のサイズについて段階的に変化するサイズを粗密修正手段に指示し、粗密修正手段は各サイズにおけるメッシュデータの変更結果を表示手段に逐次表示することを特徴とする請求項1記載の数値解析用メッシュ作成システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、コンピュータを利用して数値解析用のメッシュを作成する数値解析用メッシュ作成システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 構造物の強度等をコンピュータを用いて計算する数値解析では、解析対象領域を差分格子や有限要素等のメッシュに分割する必要がある。

【0003】 数値解析用メッシュ作成システムは、これらメッシュデータを効率良く作成するためのシステムである。

【0004】 このようなシステムにおいて、一般的に、解析精度は作成する要素の大きさに関係しており、要素が小さいほど精度が良い。しかしながら、解析対象領域全体を小さい要素に分割すると、要素数が増加するので、解析時間が増大するという不都合が生じる。

【0005】 そこで、精度と時間を両立させるために、解析結果の変化が大きい部分、例えば、構造解析における応力の変化が大きいと予想される部分に、小さい要素を集中させることができることによく行われている。この場合、隣合う要素の大きさが急激に変化すると精度が落ちるので、要素の大きさは徐々に変化させる必要がある。

【0006】 これに対し、従来のメッシュ作成システムでは、要素の大きさを変化させる割合を指定することにより、分割対象領域の一部に要素を集中させるようになっていた。例えば、二次元解析メッシュ作成システム HICAD/MESH/W ((株) 日立製作所製、HICAD/MESH/W 使用の手引、205G-7-632199 2.3月参照) では、領域の境界線に分割数と分割比を指定することができるようになっている。

【0007】 分割数とは、生成する要素の数や大きさを決めるためのものである。分割比とは、メッシュの粗密

を制御するためのものであり、要素の大きさを変化させる割合を示し、境界線の始端側の要素の辺の長さと終端側の要素の辺の長さで定義される。システム側では、ユーザが指定した分割数と分割比により公比を求め、始端から終端に向かって各要素の辺の長さが等比数列になるように境界線を分割する。

【0008】 このように、従来のシステムでは、境界線に分割数と分割比を指定することにより、要素の大きさを徐々に変化させて分割していた。

10 【0009】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の従来のシステムでは、メッシュ分割時に、分割比を境界線に指定することでメッシュの粗密を制御するため、解析対象のメッシュ分割を一旦作成した後でメッシュの粗密状態を変更する場合には、メッシュデータを一度削除した後で境界線の分割比を変更して、新たなメッシュデータを作成し直さなければならない。このため、メッシュの粗密状態を変更する際に、新たなメッシュデータを効率良く短時間で得ることができないという問題があつた。

【0010】 また、分割比を指定する際、境界線の形や分割数を考慮して、要素の大きさを徐々に変化させるために必要なデータを机上で計算したり、または試行錯誤により指定しなければならなかつた。このため、このような作業を行うには相当の経験が要求されたうえ、手間がかかるという問題があつた。

【0011】 さらに、境界線に接する要素の大きさを徐々に変化させることによってメッシュの粗密を制御するため、境界線上に小さい要素を集中させることはできる

30 が、領域の内部に小さい要素を集中させることはできないという問題があつた。

【0012】 本発明の目的は、メッシュの粗密状態の変更に際して、新たなメッシュデータを効率良く短時間で作成することができ、さらに領域内部に小さい要素を集中させることができ数値解析用メッシュ作成システムを提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明は、メッシュ作成命令に従って解析対象領域をメッシュに分割し、数値解析用のメッシュデータを作成するメッシュ作成手段と、作成されたメッシュの粗密状態の変更に際して、粗密状態変更の基準となる一部の要素と該要素の変更後のサイズを指定する指定手段と、この指定手段で指定された一部の要素のサイズを指定のサイズに変更した後、粗密状態を変更する領域内でスムージングを行うことにより、上記解析対象領域のメッシュデータを変更する粗密修正手段とを設けた。

【0014】

【作用】 上記手段にあっては、メッシュ作成手段がメッシュデータを作成した後、粗密修正手段が粗密制御の基

準となる一部の要素サイズを変化させ、その変更後のサイズに対してスムージングによってメッシュデータを変更する。

【0015】これによって、解析対象領域のメッシュを一旦作成した後でメッシュの粗密状態を変更する場合、先に作成したメッシュデータを一度削除した後に、新たなメッシュデータを最初のメッシュ分割段階から作成し直すという処理が不要になる。また、粗密状態変更の基準となる要素サイズを段階的に変化させれば、各段階での粗密状態を確認しながら対話形式で粗密状態を変更できるので、境界線の分割比を計算する作業が不要になり、所望のメッシュ粗密状態を効率よく短時間で作成できる。さらに、粗密状態変更の基準となる要素を、メッシュ分割領域の内部において指定できるので、境界線上だけでなく、領域の内部でも粗密状態の変更ができる。

【0016】従って、メッシュの粗密状態を部分的に変更しながら目的のメッシュ分割を作成するような作業のスピードアップを図ることができる。

【0017】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面を参照して詳細に説明する。

【0018】図1は、本発明の一実施例を示す構成図であり、コマンド解析部101、メッシュ作成部102、粗密修正部103、表示部104、形状データ格納部105、メッシュデータ格納部106とから構成されている。

【0019】この構成において、コマンド解析部101は、ユーザからの命令を解析してメッシュ作成部102、粗密修正部103、表示部104を起動する。

【0020】メッシュ作成部102は、コマンド解析部101からのメッシュ作成制御命令に従って形状データ格納部105に格納されている形状データを参照し、該当の形状をメッシュに分割してメッシュデータを作成する。そして、作成したメッシュデータはメッシュデータ格納部106に格納する。

【0021】粗密修正部103は、コマンド解析部101からの粗密修正制御命令に従って形状データを参照し、粗密修正制御命令に含まれる粗密状態変更の基準となる一部の要素と該要素の変更後の指定サイズに基づき、メッシュデータ格納部106に格納されているメッシュデータを更新する。

【0022】表示部104は、コマンド解析部101からの表示制御命令に従ってメッシュデータを図形に変換して表示する。

【0023】次に、形状データ、メッシュデータの詳細について説明する。

【0024】形状データは、図2の頂点テーブル201、図3の辺テーブル301、図4の面テーブル401から構成される。

【0025】ここで、図5に示すような3次元形状の立

体b1を例にとり、各テーブル201、301、401の内容について説明する。

【0026】頂点テーブル201には、頂点の識別符号（頂点ID）v1～v10別に、頂点v1～v10の座標値（x1, y1, z1）～（x10, y10, z10）が格納されている。

【0027】辺テーブル301には、辺の識別符号（辺ID）11～115別に、辺11～115の両端（始点と終点）の頂点ID v1～v10と曲線データc11～c115が格納されている。ここでの、曲線データは、円弧の半径と中心座標、自由曲線の制御点座標列等を示すものである。

【0028】面テーブル401には、図5（b）の分解図に示すように、面の識別符号（面ID）s1～s7別に、面s1～s7を構成する辺の数と辺IDおよび曲面データc s1～c s7が格納されている。ここでの曲面データは、曲面パッチの制御点の座標等で表現されている。

【0029】今、ユーザが図5（a）に示す3次元形状の立体b1をメッシュに分割するようにコマンド解析部101に命令すると、メッシュ作成部102が動作して図6に示すように分割されたメッシュが生成される。

【0030】図6のメッシュは、図7の節点テーブル701、図8の要素テーブル802、図9の節点結合テーブル901、図10の形状要素-節点対応テーブル101のデータによって表される。

【0031】このうち節点テーブル701は、メッシュの節点番号n1～n80別の座標値（x1, y1, z1）～（x80, y80, z80）から成っている。ここで、節点番号n1～n80は頂点上、辺上、面上、立体内部の順に付けられており、この順で節点テーブル701に格納されている。辺上については、辺の始点から終点に向かう順に格納されている。

【0032】また、要素テーブル801は、メッシュで区切られた六面体の要素番号e1～e36のそれぞれの要素を構成する節点番号から成っている。

【0033】例えば、要素番号e1については、n1, n11, n40, n19, n29, n51, n70, n65の節点番号から成っている。

【0034】また、節点結合テーブル901は、節点番号n1～n80のそれぞれの要素が要素辺で接続している節点数とその節点番号から成っている。

【0035】さらに、形状要素-節点対応テーブル101は、形状要素（頂点、辺、面、立体）上に生成された節点数と、対応する節点番号列が格納されている節点テーブル701でのアドレス（配列の添字）から成っている。ここで、形状要素IDは、図2～図4の形状データの各ID（v1～v10, 11～115, s1～s7, b1）に対応している。また、テーブル内の頂点の並びは、節点テーブル701での対応する節点の並びと

一致しており、辺、面についても同様である。

【0036】次に、ユーザが図6のメッシュに対して、例えば節点n16に接続する要素のサイズが α 倍になるようコマンド解析部101に命令すると、粗密修正部103と表示部104が動作する。

【0037】例えば、 α を0.7~0.3の間で0.1刻みで変化させ、節点n16に要素を集中させるように命令すると、粗密修正部103が各 α 値での粗密修正を実行し、表示部104がそれぞれの結果を逐次表示する。

【0038】この粗密修正部103の処理を図11を参照して説明する。

【0039】まず、サイズを α 倍にする要素とその構成節点を取り出す(ステップ1101)。図6の例の場合、節点n16を構成節点として持つ要素e10, e11を要素テーブル801から検索する。このとき、要素e10, e11を構成する節点列N={n15, n16, n17, n39, n41, n43, n59, n60, n61, n69, n71, n73}も同時に得られる。この節点列Nの各節点は粗密修正を制御する節点である。

【0040】次に、上記の節点列Nの各節点が属する形状要素を取り出す(ステップ1102)。これには、形状要素-節点対応テーブル1011の節点テーブルアドレスを使用し、全ての辺に関して辺上の節点列を節点テーブル701から検索し、その辺上の節点列に前記節点列Nの節点があるか調べる。

【0041】さらに全ての面に関して同様に調べる。図5と図6の例においては、節点列Nのうち、節点列N_{L1}={n15, n16, n17}は辺14に属し、節点列N_{S1}={n39, n41, n43}は面s1に属し、節点列N_{S2}={n59, n60, n61}は面s6に属する。

【0042】次に、取り出した辺に関して各辺上の節点座標を更新する(ステップ1103)。これは、ステップ1102で取り出した辺に関して、 α 倍した要素辺の長さと分割数から公比を求め、要素辺の長さが等比数列になるように辺を再度分割し、節点テーブル701の節点座標を更新することである。

【0043】今、節点n16に接続する要素のサイズを α 倍するので、辺14の場合、要素辺の長さn15-n16及びn16-n17を α 倍してe11, e12とする。また、節点n16から辺14の始点v4までの長さと節点n16から辺14の終点v5までの長さは辺テーブル402の曲線データを使って計算し、それぞれt1, t12とする。

【0044】また、節点n16から頂点v4までの分割数は「2」であるので、節点n16を始点として頂点v4を終点とした場合の公比rは、

$$(r^2 - 1) / (r - 1) = t11 / e11$$

によって計算することができるので、これによって計算し、

$$r = t11 / e11 - 1$$

を求める。

【0045】このようにして求めた公比rと辺テーブル301の曲線データを使って節点n15の座標を計算する。同様にして節点n16を始点として頂点v5を終点とした場合の公比rを求め、辺テーブル301の曲線データを使って節点n17の座標を計算する。

10 【0046】次に、取り出した面に関し各面上の節点座標を更新する(ステップ1104)。これは、ステップ1102で取り出した面に関して、節点テーブル701の節点座標を更新することである。この処理の詳細を図12に示す。

【0047】はじめに、局所座標系の設定を行う(ステップ1201)。これは、節点座標のスムージングを行うための局所座標平面を求めることがある。面の第1辺の始点を原点oとし、第1辺の始点から終点に向かうベクトルを局所座標系のx軸とする。また、面の平均法線ベクトルをz軸とし、z軸とx軸との外積がy軸となるように直行座標系o-x-y-zを設定する。

【0048】次に、座標変換行列を計算する(ステップ1202)。ここでは、全体座標系から局所座標系への変換行列G_Lとその逆行列L_Gを計算する。

【0049】次に、全体座標系から局所座標系へ座標変換する(ステップ1203)。座標変換するデータは、面上の節点、面を構成する頂点と辺上の節点、曲面データの制御点の各座標値である。

【0050】面を構成する頂点と辺は面テーブル401と辺テーブル301から検索でき、面上、辺上、頂点上の各節点の座標は、形状要素-節点対応テーブル504の節点テーブルアドレスを参照し、節点テーブル101から取り出せる。

【0051】曲面データの制御点座標は面テーブル401から得られる。このとき、変換した全節点の局所z座標値は「0」にする。

【0052】次に、サイズを α 倍にする要素の構成節点の内、該当面上の節点の局所座標を計算する(ステップ1204)。これは、ステップ1102で取り出した節点とサイズ変更の中心との距離が α 倍となるように、節点の局所座標を変更する。

【0053】例えば、面s6の場合、節点列N_{S2}の各節点と節点n16との局所座標系x-y平面での距離が α 倍となるように、節点列N_{S2}の各節点を移動すればよい。

【0054】次に、面上の節点の局所座標のスムージングを行う(ステップ1205)。

【0055】節点座標のスムージングとは、各節点の座標値をその節点に接続する複数の節点の座標値の平均値50で更新することを、繰返し行い平滑化をする処理であ

る。この場合、接続している節点は節点結合テーブル901に登録してある。

【0056】ここでは、ステップ1204で座標計算した節点を除く、面上の節点についてだけスムージングを行う。頂点上と、既に座標値の変更を終えている辺上の節点については、スムージングを行わないで、本処理終了時には、局所座標系のx y 平面上で、サイズを α 倍にする要素に滑らかに引き寄せられるように面上節点が配置される。

【0057】次に、該当面が曲面の場合、面上節点を曲面上に投影する（ステップ1206）。投影点は、面上節点を通る局所座標系のx y 平面上に垂直な直線と、ステップ1203で座標変換した曲面データで表現される曲面パッチとの交点とする。これは、すべての面上節点について行い局所座標系でのz 座標を計算する。

【0058】次に、すべての面上節点について局所座標系から全体座標系へ座標変換する（ステップ1207）。

【0059】以上で面上節点の座標の更新を終える（ステップ1104）。

【0060】最後に、立体b1 内部の節点座標を更新する（ステップ1105）。これは、立体b1 の内部節点座標を形状要素一節点対応テーブル1011と節点テーブル701から取り出し、スムージングを行うことである。

【0061】以上が、粗密修正部103の処理である。これにより、ある α での粗密修正が実行され、メッシュデータが更新される。

【0062】メッシュデータの更新終了後、コマンド解析部101からの命令を受けて表示部104が動作し、更新されたメッシュデータを表示する。

【0063】ここで、 $\alpha = 0.5$ での粗密状態の変更結果を図13に示す。

【0064】表示部104による変更結果の表示後、コマンド解析部101は、粗密修正を終了するかユーザに問合せる。終了したい場合はコマンド解析部101に終了命令を入力すればよく、 α を変化させて粗密修正をさらに実行したい場合は継続命令を入力すればよい。

【0065】従って、粗密状態を変更したい場合には、粗密状態変更の基準となる要素とその変更後のサイズを指定し、節点テーブル701で関係する辺上と面上の節点座標及び、立体内部の節点座標を更新するだけである。

【0066】また、メッシュへの分割はスムージング処理によって行うため、辺の分割比を変更して最初からメッシュに分割する場合に比べて高速に粗密状態変更後のデータを得ることができる。

【0067】さらに、辺上だけでなく面や立体の内部において、粗密状態変更の基準となる要素を指定できるので、面や立体の内部でも粗密状態の変更が容易にでき

る。

【0068】また、粗密状態変更の基準となる要素のサイズが段階的に変化するようにコマンド解析部101から粗密修正部103に指示を行うことにより、各段階での粗密状態を表示部104で確認しながら対話形式で粗密状態を変更することができる。

【0069】この場合、サイズの段階的な変更は手動で行っても良いし、自動的に所定の変化幅で変化させるようにもよい。

10 【0070】なお、本発明は3次元形状に限定されたものではなく、2次元形状の場合でも適用することができる。2次元形状の場合、図11のステップ1105の処理は不要になる。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、メッシュ作成命令に従って解析対象領域をメッシュに分割し、数値解析用のメッシュデータを作成するメッシュ作成手段と、作成されたメッシュの粗密状態の変更に際して、粗密状態変更の基準となる一部の要素と該要素の変更後の

20 サイズを指定する指定手段と、この指定手段で指定された一部の要素のサイズを指定のサイズに変更した後、粗密状態を変更する領域内でスムージングを行うことにより、上記解析対象領域のメッシュデータを変更する粗密修正手段とを設けたので、解析対象のメッシュ分割を一旦作成した後でメッシュの粗密状態を変更する場合、先に作成したメッシュデータを一度削除した後で、境界線の分割比を変更して新たなメッシュデータを最初のメッシュ分割段階から作成し直すという処理が不要になり、粗密状態の変更に対する新たなメッシュデータを効率よく短時間で得ることができる。

30 【0072】また、粗密状態変更の基準となる要素のサイズを段階的に変化させることにより、各段階での粗密状態を確認しながら対話形式で粗密状態を変更することができる。要素の大きさを徐々に変化させるために必要なデータを机上で計算するといった作業が不要になり、所望のメッシュ粗密状態を効率よく得ることができる。

【0073】さらに、メッシュ分割領域の内部において、粗密状態変更の基準となる要素を指定できるので、40 境界線上だけでなく、領域の内部でも粗密状態の変更ができる。

【0074】従って、メッシュの粗密状態を部分的に変更しながら目的のメッシュ分割を作成するような作業のスピードアップを図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例を示す構成図である。

【図2】 3次元形状データを構成する頂点テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図3】 3次元形状データを構成する辺テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図4】 3次元形状データを構成する面テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図5】 メッシュ分割をする3次元形状の例を示す説明図である。

【図6】 図5の3次元形状をメッシュに分割した例を示す説明図である。

【図7】 図6のメッシュ分割を表現するメッシュデータの中の節点テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図8】 図6のメッシュ分割を表現するメッシュデータの中の要素テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図9】 図6のメッシュ分割を表現するメッシュデータの中の節点結合テーブルとその内容の例を示す説明図である。

である。

【図10】 図6のメッシュ分割を表現するメッシュデータの中の形状要素-節点対応テーブルとその内容の例を示す説明図である。

【図11】 粗密修正部の処理を表すフローチャートである。

【図12】 粗密修正部の処理の中で面上節点の座標を更新する処理を表すフローチャートである。

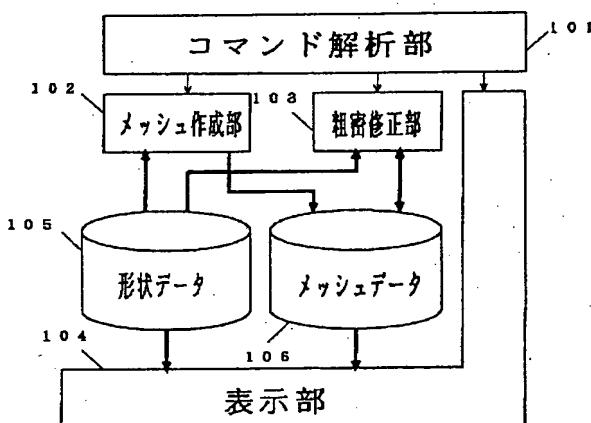
【図13】 図6のメッシュ分割の粗密状態を変更した結果を示す説明図である。

【符号の説明】

101…コマンド解析部、102…メッシュ作成部、103…粗密修正部、104…表示部、105…形状データ格納部、106…メッシュデータ格納部。

【図1】

図1



【図2】

図2

頂点テーブル	
頂点ID	座標
V 1	x 1, y 1, z 1
V 2	x 2, y 2, z 2
V 3	x 3, y 3, z 3
⋮	⋮
V 10	x 10, y 10, z 10

【図3】

図3

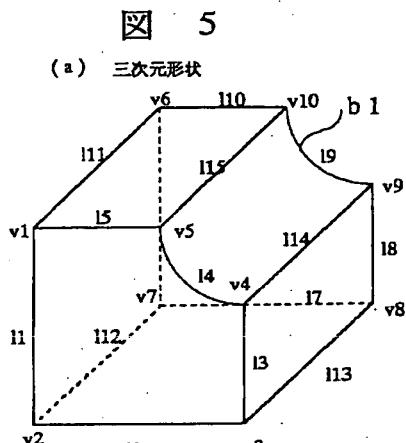
辺テーブル			
辺ID	始点	終点	曲線データ
1 1	v 1	v 2	c 1 1
1 2	v 2	v 3	c 1 2
1 3	v 3	v 4	c 1 8
⋮	⋮	⋮	⋮
1 1 8	v 5	v 10	c 1 1 5

【図4】

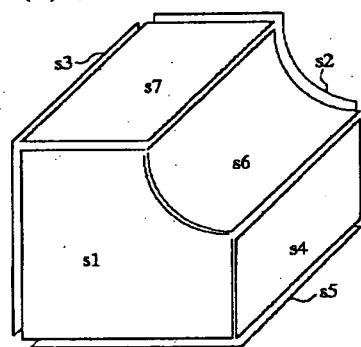
図4

面テーブル					
面ID	辺数	辺1	辺2	⋮	曲面データ
S 1	5	1 1	1 2	⋮	c s 1
S 2	5	1 6	1 7	⋮	c s 2
S 3	4	1 1	1 1 2	⋮	c s 3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S 7	4	1 5	1 1 5	⋮	c s 7

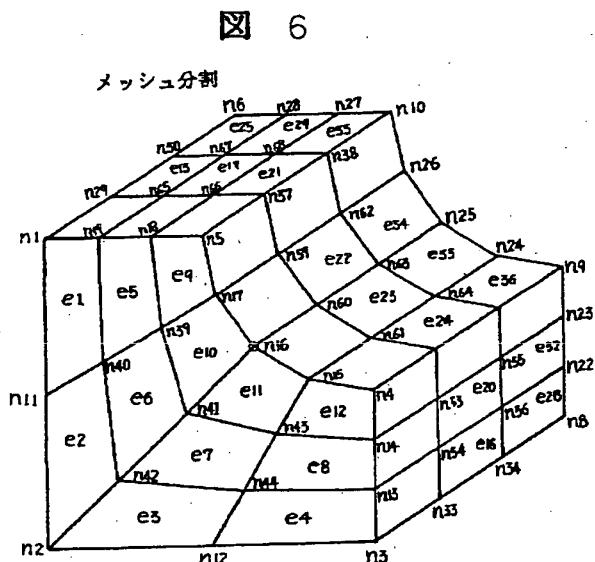
【図5】



(b) 分解図



【図6】



【図7】

図7

節点テーブル

701

節点番号	座標
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80	x1, y1, z1 x2, y2, z2 x3, y3, z3 x4, y4, z4 x5, y5, z5 x6, y6, z6 x7, y7, z7 x8, y8, z8 x9, y9, z9 x10, y10, z10 x11, y11, z11 x12, y12, z12 x13, y13, z13 x14, y14, z14 x15, y15, z15 x16, y16, z16 x17, y17, z17 x18, y18, z18 x19, y19, z19 x20, y20, z20 x21, y21, z21 x22, y22, z22 x23, y23, z23 x24, y24, z24 x25, y25, z25 x26, y26, z26 x27, y27, z27 x28, y28, z28 x29, y29, z29 x30, y30, z30 x31, y31, z31 x32, y32, z32 x33, y33, z33 x34, y34, z34 x35, y35, z35 x36, y36, z36 x37, y37, z37 x38, y38, z38 x39, y39, z39 x40, y40, z40 x41, y41, z41 x42, y42, z42 x43, y43, z43 x44, y44, z44 x45, y45, z45 x46, y46, z46 x47, y47, z47 x48, y48, z48 x49, y49, z49 x50, y50, z50 x51, y51, z51 x52, y52, z52 x53, y53, z53 x54, y54, z54 x55, y55, z55 x56, y56, z56 x57, y57, z57 x58, y58, z58 x59, y59, z59 x60, y60, z60 x61, y61, z61 x62, y62, z62 x63, y63, z63 x64, y64, z64 x65, y65, z65 x66, y66, z66 x67, y67, z67 x68, y68, z68 x69, y69, z69 x70, y70, z70 x71, y71, z71 x72, y72, z72 x73, y73, z73 x74, y74, z74 x75, y75, z75 x76, y76, z76 x77, y77, z77 x78, y78, z78 x79, y79, z79 x80, y80, z80

頂点上節点

辺上節点

面上節点

立体内部節点

【図8】

図8

要素テーブル

要素番号	第1節点	第2節点	第3節点	第4節点	第5節点	第6節点	第7節点	第8節点
e ₁	n ₁	n ₁₁	n ₄₀	n ₁₉	n ₂₉	n ₅₁	n ₇₀	n ₆₅
e ₂	n ₁₁	n ₂	n ₄₂	n ₄₀	n ₅₁	n ₃₁	n ₇₂	n ₇₀
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
e ₃	n ₆₄	n ₇₉	n ₅₅	n ₃₆	n ₂₄	n ₄₉	n ₂₃	n ₉

801

【図9】

図9

節点結合テーブル

節点番号	節点数	第1節点	第2節点	第3節点	第4節点	...
n ₁	3	n ₁₁	n ₁₉	n ₂₉	0	...
n ₂	4	n ₁₁	n ₁₂	n ₃₁	n ₄₂	0 ...
Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
n ₈₀	6	n ₇₉	n ₇₈	n ₅₆	n ₅₈	n ₅₀ n ₇₄ 0 ...

901

【図10】

図10

形状要素一節点対応テーブル

形状要素ID	節点数	節点テーブルアドレス
v ₁	1	1
v ₂	1	2
Σ	Σ	Σ
v ₁₀	1	10
1 ₁	1	11
1 ₂	1	12
Σ	Σ	Σ
1 ₁₅	2	37
s ₁	6	39
Σ	Σ	Σ
s ₇	4	65
b ₁	12	69

1011

頂点

辺

面

一立体

面上節点座標の更新処理フロー

START

局所座標系の設定 ～1201

座標変換行列の算出 ～1202

座標変換（全体→局所） ～1203

基準要素の構成節点座標計算 ～1204

面上節点座標のスムージング ～1205

曲面か？ ＜ 面上節点の曲面投影 ～1206

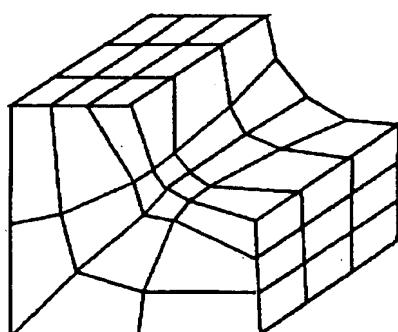
座標変換（局所→全体） ～1207

END

【図13】

図13

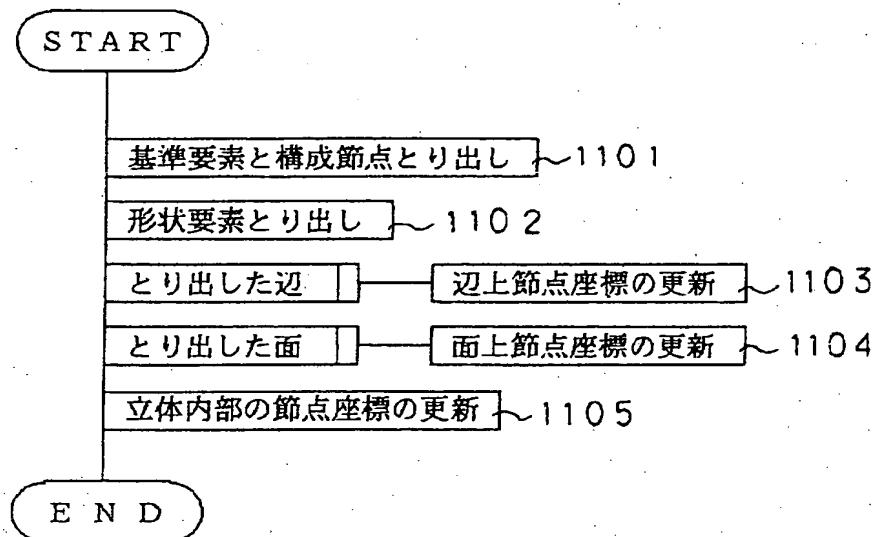
粗密状態の変更結果



【図1.1】

図 1.1

粗密修正部の処理フロー



Partial English Translation of Japanese Laid-Open Patent
Application No.H6-274573

[0018] FIG. 1 is a diagram showing a configuration according to an embodiment of the present invention. The configuration comprises a command analyzing unit 101, a mesh forming unit 102, a roughness/denseness correction unit 103, a display unit 104, a shape data storing unit 105, and a mesh data storing unit 106.

[0019] In this configuration, the command analyzing unit 101 analyzes an instruction from a user to operate the mesh forming unit 102, the roughness/denseness correction unit 103, and the display unit 104.

[0020] The mesh forming unit 102 refers to shape data stored in the shape data storing unit 105 according to a mesh formation control instruction from the command analyzing unit 101 to divide the shape into a mesh, thereby forming mesh data. The formed mesh data is stored in the mesh data storing unit 106.

[0021] The roughness/denseness correction unit 103 refers to shape data according to a roughness/denseness correction control instruction from the command analyzing unit 101 to update the mesh data stored in the mesh data storing unit 106 on the basis of an element serving as a reference of a change in roughness/denseness state included in the roughness/denseness correction control instruction and a designated size of the element obtained after the roughness/denseness state is changed.

[0022] The display unit 104 converts the mesh data into a

graphic according to a display control instruction from the command analyzing unit 101 and display the graphic.

[0023] The details of the shape data and the mesh data will be described below.

[0024] The shape data is constituted by an apex table 201 in FIG. 2, a side table 301 in FIG. 3, and a surface table 401 in FIG. 4.

[0025] The contents of the tables 201, 301, and 401 will be described below by using a three-dimensional cubic b1 as shown in FIG. 5 as an example.

[0026] In the apex table 201, for respective identification codes (apex IDs) v1 to v10, coordinate values (x1, y1, z1) to (x10, y10, z10) of the apexes v1 to v10 are stored.

[0027] In the side table 301, for respective identification codes (side IDs) 11 to 115, apex IDs v1 to v10 of both the ends (start points and end points) of sides 11 to 115 and curve data c11 to c115 are stored. In this case, the curve data indicates the radius and central coordinates of an arc, the control point coordinate string of a free curve, and the like.

[0028] In the surface table 401, as shown in an exploded diagram in FIG. 5(b), for respective identification codes (surface IDs) s1 to s7 of surfaces, the number of sides constituting the surfaces s1 to s7, side IDs, and curved surface data cs1 to cs7. The curved surface data is expressed by coordinates or the like of a control point of a curved surface patch.

[0029] When a user instructs the command analyzing unit 101 to divide the three-dimensional cubic b1 shown in FIG. 5(a) into

a mesh, the mesh forming unit 102 operates to generate a mesh which is divided as shown in FIG. 6.

[0030] The mesh in FIG. 6 is expressed by data in a node table 701 in FIG. 7, an element table 802 in FIG. 8, a node coupling table 901 in FIG. 9, and a shape-element-node-corresponding table 1011 in FIG. 10.

[0031] The node table 701 of these tables is constituted by coordinate values (x1, y1, z1) to (x80, y80, z80) classified by node numbers n1 to n80 of the mesh. In this case, the node numbers n1 to n80 are sequentially added to apexes, sides, surfaces, and the inside of a cubic, and the node numbers n1 to n80 are stored in this order. On a side, node numbers are sequentially stored from the start point of the side to the end point of the side.

[0032] An element table 801 is constituted by node numbers constituting elements indicated by element numbers e1 to e36 of a hexahedron partitioned by a mesh.

[0033] For example, the element number e1 is constituted by node numbers n1, n11, n40, n19, n29, n51, n70, and n65.

[0034] The node coupling table 901 is constituted by the number of nodes at which the elements of the node numbers n1 to n80 are connected by element sides and the node numbers of the nodes.

[0035] In addition, the shape-element-node-corresponding table 1011 is constituted by the number of nodes generated on shape elements (apexes, sides, surfaces, and cubics) and addresses (subscripts of an alignment) in the node table 701 in which corresponding node number strings are stored. In this

case, a shape element ID corresponds to each ID (v1 to v10, 11 to 115, s1 to s7, b1) of the shape data shown in FIGS. 2 to 4. An arrangement of apexes in the table is equal to an arrangement of corresponding nodes in the node table 701. The same applies to the sides and the surfaces.

[0036] When a user instructs the command analyzing unit 101 to multiply the size of an element connected to, e.g., the node n16 by α for the mesh in FIG. 6, the roughness/denseness correction unit 103 and the display unit 104 operates.

[0037] For example, α is changed at intervals of 0.1 in the range of 0.7 to 0.3, and an instruction is made to concentrate elements on the node n16. In this case, the roughness/denseness correction unit 103 executes roughness/denseness correction at respective α values, and the display unit 104 sequentially displays results.

[0038] The process performed by the roughness/denseness correction unit 103 will be described below with reference to FIG. 11.

[0039] An element the size of which is multiplied by α and nodes constituting the element are extracted (step 1101). In the case in FIG. 6, elements e10 and e11 having the node n16 as constituent nodes are retrieved from the element table 801. At this time, a node string $N = \{n15, n16, n17, n39, n41, n43, n59, n60, n61, n69, n71, n73\}$ constituting the elements e10 and e11 are simultaneously obtained. The respective nodes of the node string N are nodes for controlling roughness/denseness correction.

[0040] Shape elements to which the respective nodes of the node string N are extracted (step 1102). For this purpose, node table addresses of the shape-element-node-corresponding table 1011 are used, and node strings on all the sides are retrieved from the node table 701 to check whether the nodes of the node string N exist on the node strings on the sides or not.

[0041] Furthermore, the nodes of all the surfaces will be checked. In the examples in FIGS. 5 and 6, of the node strings N, a node string $NL1 = \{n15, n16, n17\}$ belongs to a side 14, a node string $NS1 = \{n39, n41, n43\}$ belongs to a surface $s1$, and a node string $NS2 = \{n59, n60, n61\}$ belongs to a surface $s6$.

[0042] Node coordinates on the extracted sides are updated (step 1103). In this updating operation, with respect to the sides extracted in step 1102, a common ratio is calculated from the lengths of the sides of the element multiplied by α and the number of divisions, and the sides are subdivided such that the lengths of the element sides constitute a geometric progression, so that the node coordinates of the node table 701 are updated.

[0043] Since the size of an element connected to the node n16 is multiplied by α , with respect to a side 14, a length $n15 - n16$ and a length $n16 - n17$ of the element sides are multiplied by α to obtain $e11$ and $e12$. A length from the node n16 to a start point $v4$ of the side 14 and a length from the node n16 to an end point $v5$ of the side 14 are calculated by using curve data of a side table 402. The lengths are represented by $t11$

and t12, respectively.

[0044] Since the number of divisions from the node n16 to the apex v4 is "2", a common ratio r obtained when the node n16 and the apex v4 are used as a start point and an end point, respectively, can be calculated by:

$$(r^2 - 1)/(r - 1) = t11/e11$$

For this reason, this equation is calculated to obtain the following result:

$$r = t11/e11 - 1.$$

[0045] By using the common ratio r calculated as described above and the curve data in the side table 301, the coordinates of the node n15 will be calculated. Similarly, a common ratio r obtained when the node n16 and an apex v5 are set as a start point and an end point, respectively, and the coordinates of a node n17 is calculated by using the curve data in the side table 301.

[0046] Node coordinates node coordinates on the respective extracted surfaces are updated (step 1104). This process means that node coordinates in the node table 701 with respect to the surfaces extracted in step 1102 are updated. The details of the process is shown in FIG. 12.

[0047] A local coordinate system is set first (step 1201). This process means that a local coordinate plane for smoothing node coordinates is calculated. A start point of the first side of the surface is set as an origin o , and a vector extending from the start point of the first side to the end point of the first side is set as an x axis. An average normal vector of

the surface is set as a z axis, and an orthogonal coordinate system o-x-y-z is set such that the vector product of the z axis and the x axis is equal to a y axis.

[0048] A coordinate transformation matrix is calculated (step 1202). In this case, a transformation matrix GL used in transformation from the whole coordinate system into a local coordinate system and an inverse matrix LG thereof are calculated.

[0049] Coordinate transformation from the whole coordinate system into the local coordinate system is performed (step 1203). Data subjected to coordinate transformation includes the coordinate values of nodes on a surface, nodes on apexes and sides constituting the surface, control point of curved surface data.

[0050] The apexes and the sides constituting the surface can be retrieved from the surface table 401 and the side table 301, the coordinates of the nodes on the surface, the sides, and the apexes can be extracted from the node table 1011 with reference to node table addresses of a shape-element-node-corresponding table 504.

[0051] The control point coordinates of the curved surface data are obtained from the surface table 401. At this time, local z-coordinate values of all the transformed nodes are set at "0".

[0052] Of the constituent nodes of an element the size of which is multiplied by α , the local coordinates of the nodes on the corresponding surface are calculated (step 1204). At this time, the local coordinates of the nodes are changed such that the

distance between the nodes extracted in step 1102 and the center of the element the size of which is changed is α times.

[0053] For example, when a surface s6 is used, the nodes of the node string NS2 may be moved such that distances between the nodes of the node string NS2 and the node n16 on the surface of a local coordinate system are α times.

[0054] The local coordinates of the nodes on the surface are smoothed (step 1205).

[0055] The process of smoothing the node coordinates means that the coordinate values of the respective nodes are repeatedly updated by an average value of the coordinate values of a plurality of nodes connected to the corresponding nodes to smooth the node coordinates. In this case, the connected nodes are registered in the node coupling table 901.

[0056] Only nodes on the surface except for the nodes the coordinates of which are calculated in step 1204 are smoothed. The nodes on the apexes and the sides the coordinate values of which have been changed are not smoothed. For this reason, upon completion of this process, on the x-y plane of the local coordinate system, the nodes on the surface are arranged such that the element the size of which is multiplied by α can be smoothly attracted.

[0057] When the corresponding surface is curved, nodes on the surface are projected on the curved surface (step 1206). The projected points are defined as intersection points between a straight line perpendicular to the x-y plane of the local coordinate system passing through the nodes on the surface and

curved surface patch expressed by the curved surface data subjected to coordinate transformation in step 1203. This process is performed to all the nodes of the surface to calculate z-coordinates in the local coordinate system.

[0058] Coordinate transformation from the local coordinate system into the whole coordinate system is performed to all the nodes on the surface (step 1207).

[0059] The above ends the updating of the coordinates of the nodes on the surface (step 1104).

[0060] Finally, node coordinates in a cubic b1 are updated (step 1105). This process means that internal node coordinates of the cubic b1 are extracted from the shape-element-node-corresponding table 1011 and the node table 701 to perform smoothing.

[0061] The above is the process of the roughness/denseness correction unit 103. According to the process, roughness/denseness correction at certain α , and mesh data is updated.

[0062] Upon completion of updating of mesh data, the display unit 104 operates in response to an instruction from the command analyzing unit 101, the display unit 104 displays updated mesh data.

[0063] A result of a change in roughness/denseness state when $\alpha = 0.5$ is shown in FIG. 13.

[0064] After the result of the change is displayed by the display unit 104, the command analyzing unit 101 asks a user whether roughness/denseness correction is ended or not. When

a user wants to end the roughness/denseness correction, the user may input an end instruction in the command analyzing unit 101. When the user wants to change a to further execute the roughness/denseness correction, the user may input a continuous instruction.

[0056] Therefore, when a user wants to change a roughness/denseness state, the user designates an element serving as a reference of a change in roughness/denseness state and the changed size of the element. Only the related node coordinates on the sides and the surfaces and the node coordinates in the cubic are updated in the node table 701.

[0066] Since division of a mesh is performed by a smoothing process, data obtained after the roughness/denseness state is changed can be obtained at a speed higher than that in a case in which a mesh is divided from the first by changing division ratios of sides.

[0067] In addition, since an element serving as a reference of a change in roughness/denseness state can be designated on not only sides but also surfaces or cubics, the roughness/denseness state can be easily changed in the surfaces or the cubics.

[0068] When the command analyzing unit 101 transmits a command to the roughness/denseness correction unit 103 such that the size of an element serving as a reference of a change in roughness/denseness state, the roughness/denseness states can be interactively changed while checking the roughness/denseness states at the display unit 104 in

respective stages.

[0069] In this case, the gradual change in size may be manually performed or automatically performed such that the size is changed at predetermined change intervals.

[0070] The present invention can be applied to not only the three-dimensional shape but also a two-dimensional shape. When the present invention is applied to the two-dimensional shape, the process in step 1105 in FIG. 11 is not necessary.